

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-048673

(43)Date of publication of application : 15.02.2002

(51)Int.Cl.

G01M 11/00

(21)Application number : 2000-236748

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 04.08.2000

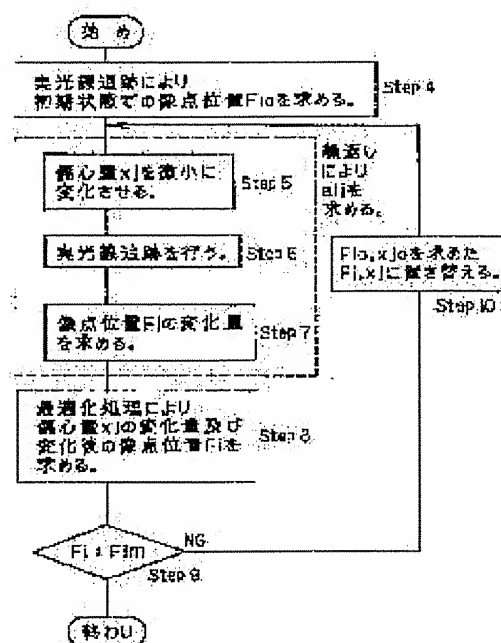
(72)Inventor : UEHARA KENJI
NISHIOKA KIMIHIKO
YASUGAKI MASATO

(54) PHYSICAL QUANTITY MEASURING METHOD OF OPTICAL ELEMENT OR OPTICAL SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method which enables highly accurate determination of parameters indicating the eccentricity of an optical system comprising a single optical element or the combination of the optical elements.

SOLUTION: In the eccentricity measuring method, rays are made incident into an optical element or an optical system to be measured and the angle of the rays with the optical axis thereof is varied to detect the position of the rays reflected or refracted from a surface to be detected with respect to each of the angles. A real ray tracing is performed for each of the resulting states to optimize the eccentricity so that a difference is smaller between the position of the rays measured for all of the states and the position of the rays obtained by the ray tracing thereby determining at least one eccentricity.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-48673
(P2002-48673A)

(43) 公開日 平成14年2月15日 (2002. 2. 15)

(51) Int.Cl.⁷
G 0 1 M 11/00

識別記号

F I
G 0 1 M 11/00

テーマコード* (参考)
L 2 G 0 8 6

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-236748(P2000-236748)

(22) 出願日 平成12年8月4日 (2000. 8. 4)

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 上原 健志

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 西岡 公彦

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100097777

弁理士 韭澤 弘 (外7名)

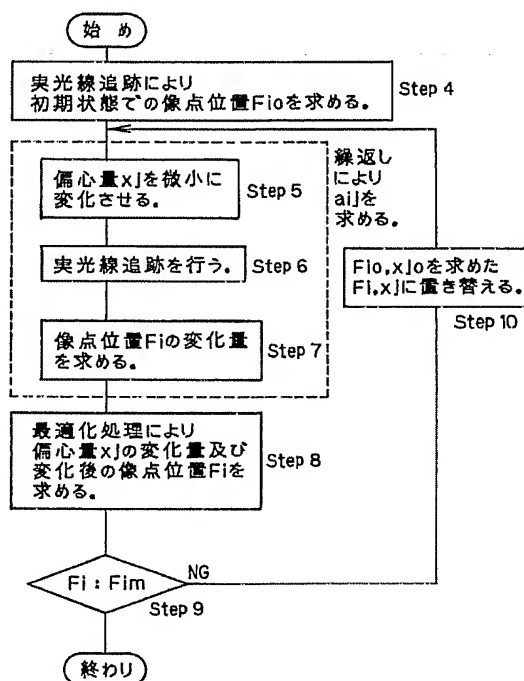
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子又は光学系の物理量測定方法

(57) 【要約】

【課題】 光学素子の単体又は組み合わせからなる光学系の偏心を表すパラメータを高い精度で求める手法。

【解決手段】 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、それぞれの状態に対してリアルタイム処理を行い、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように偏心量を最適化することで、少なくとも一つの偏心量を求める偏心測定方法。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被測定光学素子又は光学系に光を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光の状態を測定し、その測定値よりリアルレイトレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の物理量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法。

【請求項2】 光束の像を測定する場合の結像関係が等倍結像あるいは不等倍結像の何れかを用いることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法。

【請求項3】 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように物理量を最適化することで、少なくとも一つの物理量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学素子又は光学系の物理量測定方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】レンズ系の物理量（形状、曲率半径、面間隔、非球面係数、屈折率分布等を含む）の中、従来、一般的なレンズ系の偏心量の測定方法としては、オートコリメーション法が知られている。オートコリメーション法は、測定しようとする面の見かけ上の曲率中心、すなわち、被測定面と観察系との間に存在する別の面によって結像される被測定面の曲率中心の像の位置に指標を投影し、被検面による等倍の反射像をその指標の投影位置と同じ位置に生じさせる方法である。

【0003】上記の場合において、測定基準軸に関して全てのレンズ面に偏心がなければこの基準軸上に指標像*

$$\Delta = 2\beta r \varepsilon$$

となる。

【0006】本発明は従来技術のこのような問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、光学素子の単体又は組み合わせからなる光学系の偏心をはじめとする物理量を表すパラメータを高い精度で求める手法を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の光学素子又は光学系の偏心測定方法は、被測定光学素子又は光学系に光を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光の状態を測定し、その測定値よりリアルレイトレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の偏心量を求めることを特徴とする方法である。

【0008】本発明のもう一つの光学素子又は光学系の偏心測定方法は、光束の像を測定する場合の結像関係が等倍結像あるいは不等倍結像の何れかを用いることを特

*が形成されるが、もし何れかのレンズ面に偏心が存在すれば、基準軸から基準軸に対して垂直な方向に離れた位置に反射像が形成されることになる。この反射像の基準軸からの振れ量 Δ は個々のレンズ面の偏心量 ε と関数関係があるので、各レンズ面についてその見かけの球心位置に投影した指標像の等倍反射像の振れ量 Δ を測定すれば、計算によってその測定基準軸に対する各レンズ面の偏心量を求めることができる。

【0004】図7は、偏心量（軸の傾き） ε を持つ1被測定面51により生じた振れ量 Δ を示した概略図である。図7のように、光源（指標）52からの光束をコリメータレンズ53で収束させて被測定面51の測定基準軸上の球心位置に収束するように入射させる。光束の収束位置と被測定面51の球心位置が一致する場合には、光束は被測定面51に垂直入射することになる。しかし、光束の収束位置と被測定面51の球心位置が一致していない（被測定面51が ε 偏心している）と、光束は被測定面51に斜入射することになる。ここで、垂直入射の場合は、被測定面51で発生した反射光は入射時の光路を逆行し、光源（指標）52と共役な位置に収束することになる。これに対し斜入射の場合は、被測定面51で発生する反射光は入射時の光路からずれ、垂直入射した場合に収束した位置から Δ ずれた位置に収束する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来技術において、像面54で測定された振れ量 Δ とレンズ面51の偏心量 ε との関係が比例するものであるとし、この比例関係の比例係数を近軸計算によって求めていたため、計算で得られた偏心量 ε の精度が低下することがあり得た。図7に示すコリメータレンズ53の近軸計算により求めた倍率 β を使用した場合、振れ量 Δ と被測定面51の偏心量 ε との関係式は被測定面51の曲率半径を r とすると、

$$\dots (1)$$

徴とする方法である。

【0009】本発明のさらにもう一つの光学素子又は光学系の偏心測定方法は、被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように偏心量を最適化することで、少なくとも一つの偏心量を求めることを特徴とする方法である。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の光学素子又は光学系の偏心測定方法の原理と実施例について説明する。

【0011】本発明は前記の問題点を解決するために、測定された振れ量 Δ から面の偏心量を算出する処理にリアルレイトレースを用いるものである。リアルレイト

ースは実光線追跡とも呼ばれる。屈折及び反射の法則を厳密に計算して光線の位置、方向等を計算する方法である。光学系の偏心量、非球面を考慮した光線追跡が可能であり、計算機を用いた光学系の設計、評価等に広く利用されている。

【0012】リアルレイトレースの処理は、図1に示すように、光学系に入射する光線の位置ベクトル P_0 、方向ベクトル R_0 からの光学系の第1面（最初に光線と交わる面）との交点 P_1 を求め、交点位置での面の法線ベクトル H_1 から光線の入射角 θ_{i1} が決まる。入射側の媒質の屈折率 n_0 と射出側の屈折率 n_1 より、スネルの法則を用いて射出角 θ_{o1} 、射出光線方向ベクトル R_1 が求まる。第1面の交点の位置ベクトル P_1 、射出光線方向ベクトル R_1 を第2面（次に光線と交わる面）への入射光線にして、次の面との交点、射出光線を繰り返し求めていくものである。

【0013】リアルレイトレースにより、光学系に入射した光束あるいは光線が光学系をいかに通り、射出されるかが計算でき、光束あるいは光線の像点位置、光束の重心位置、光束の状態（大きさ、形）、光線方向・位置、光線の状態（強度、偏光状態）、又は、光束の広がり、ローカル近軸量（特開平11-287947号）等の光学系の各種特性を算出することが可能である。

【0014】前記の発明が解決しようとする課題であげた振れ量 Δ は、例えば図6に示す光学系からなる測定機により測定される。振れ量 Δ は像点位置あるいは光束の重心位置を求める処理になる。物点（半導体レーザ）201から出た絞り中心を通る光線（主光線）を、測定用光学系202、ビームスプリッタ204を介して被測定レンズ203の各面の曲率中心に対して順々に投射し、この反射光を像面（CCDカメラ207の受光面）まで追跡し、像面（CCDカメラ207の受光面）での座標値を求める。ここでの絞り中心は、被検組上がりレンズ系（被測定レンズ203）の絞りの中心に限らず、被検面と光軸又はグローバル座標又はイメージローテータ205の回転中心軸との交点等を選んでもよい。また、光束の重心位置、形状は、物点（半導体レーザ）201から出た光線を複数本追跡し、光学系（測定用光学系）202からの射出光線をそれぞれ求める。射出光線の位置と方向、光線の強度等から像面（CCDカメラ207の受光面）での光束の重心位置、大きさ、形等を求める。

【0015】光線の強度、偏光状態は、光線の面への入射角、射出角、面の前後の屈折率によりエネルギー透過率、エネルギー反射率が求まり、各面の射出後のエネルギー透過率あるいはエネルギー反射率を掛け合わせることでその光線の強度が求まる。面にコーティング処理が施してある場合は、各層毎の特性行列を用いて透過率、反射率が算出できる。また、偏光状態も上記透過率、反射率を用いてジョーンズベクトルを追跡することで算出できる（「光学の原理」東海大学出版、「結晶光学」応

用物理学会光学懇話会、「光学薄膜」共立出版 参照）。

【0016】以下、本発明の光学素子又は光学系の偏心測定方法の1実施例を説明する。

【0017】図2に、偏心測定方法を実施する処理装置のブロック図を示す。本装置は、上記のような光束の像の状態又は光線の状態を測定する測定機8、表示装置2、キーボード等の入力装置3、磁気ディスク等の記憶装置4、プリンター等6、及び、それらを統括処理し、かつ、処理を行う演算処理装置1よりなる。この他に、外部の光学素子測定機9、光学系設計装置10等とデータや処理方法等をやりとりするためのLAN7に接続されており、フロッピー（登録商標）ディスクや光磁気ディスク等の外部媒体5との入出力機構も備えている。

【0018】測定機8からは、前記のように、被検光学系から射出される光束の像の状態、又は、光線の状態の測定データの他、測定光学系に関する面間隔データ、移動量等も送られる。

【0019】光学素子測定機9は、光学素子の面形状、面間隔、媒質の屈折率、コーティング膜厚等の各種測定機の集合であり、この測定機9からは、被検光学系、測定光学系の r 、 d 、 n の測定データ、あるいは、コーティングデータ、製造誤差データ等が送られる。ここで、 r ：曲率又は曲率半径（非球面の場合は面の方程式）、 d ：面間隔、 n ：媒質の屈折率、コーティングデータ：各膜の複素屈折率、膜厚である。

【0020】光学系設計装置10は、光学系を設計する装置である。この装置からは、被検光学系、測定光学系の r 、 d 、 n 等の設計値データ等が送られる。また、本発明の方法より求めた偏心データを取り込み、設計に反映し、又は、光学系を評価することが可能となっている。

【0021】図2の装置で図3に示す処理を行う。すなわち、Step1では、図2の入力装置3、記憶装置4、外部媒体5、測定機8、光学素子測定機9、光学系設計装置10からのStep2の偏心量算出処理に用いる被検光学系、測定光学系の r 、 d （測定光学系における測定のための面間隔移動量も含む）、 n データ、コーティングデータ、製造誤差データ、被検光学系から射出される光束の像の状態データ、又は、光線の状態の測定データ、既に分かっている偏心データ、求める偏心の種類、範囲等を必要に応じて入力する。

【0022】Step2では、Step1で入力された各種データを基に、図2の演算装置1によりリアルレイトレースを行い、求める偏心量を算出する。

【0023】Step3では、求めた偏心量を図2の表示装置2、記憶装置4、外部媒体5、プリンタ6に出力する。又は、測定機8、光学素子測定機9、光学系設計装置10等にデータ転送する。

【0024】次に、図3の偏心量算出処理Step2に

相当する部分の処理を、図4の連立方程式の解法にリアルレイトレースを用いた例で説明を行う。従来のオートコリメーション法を用いた偏心測定に当てはめると、連立方程式は例えば以下のようにおける。

【0025】評価関数を $F_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 、 $i=1, 2, 3, \dots, n$ ：例えば像点位置とする。像点位置は、リアルレイトレースを用いれば、例えば図8に示すように、物点から光学系に絞り中心を通る光線を入射させ、その光線が射出する光線と像面との交点として算出できる。また、評価関数として扱えるものは、像点位置のほかに、例えば図9(a)に示すような、物点から光学系に入射した光束(複数本の光線)が光学系から射出される光束(複数本の光線)のある断面(図9(b)、(c))における重心位置、光束の広がり、又は、波動光学的点像強度分布、光線の状態等、測定可能なものでリアルレイトレースを行うことにより算出できるものであれば全て扱える。

【0026】変数 x_j ($1, 2, 3, \dots, m$)、 $j=*$

$$F_i \approx F_{i0} + \sum a_{ij}(x_j - x_{j0})$$

となる。この F_i が測定結果である像面位置 F_{im} に十分近づいた状態になる偏心量(変数 x_j)が算出できればよい。

【0028】Step4では、偏心量(変数)が初期状態(x_{j0})での像点位置(評価関数 F_{i0})をリアルレイトレースで求める。

【0029】Step5からStep7では、差分により a_{ij} を成分とする行列 A_{ij} を求める。一つの偏心量(変数 x_i)を微小に変化させた状態でリアルレイトレースを行い、一つの偏心量の単位変化量に対する像点位置(評価関数 F_i)の変化量 $\partial F_i / \partial x_j$ を求める。

【0030】Step8では、最適化処理により偏心量(変数 x_i)の変化量と変化後の像点位置(評価関数 F_i)を求める。

【0031】Step9では、最適化により求めた像点位置(評価関数 F_i)と測定結果である像面位置 F_{im} を比較し、十分に近い状態かどうか評価する。もし、十分な状態でない場合、Step10で最適化後の像点位置(評価関数 F_i)、偏心量(変数 x_j)をそれぞれ初期状態(評価関数 i_0 、変数 x_{j0})に置き換えて、Step5の処理に戻る。Step9で十分な状態である評価した場合は、処理を終了する。

【0032】以上の処理において、従来のオートコリメーション法では、被検光学系からの反射光を測定する。被検光学系的前方から光束を入射し、測定面からの反射光の結像位置(像点位置又は重心位置)を測定する。測定した位置を評価関数とし、被検面の偏心量を変数として、以上の処理を行うことにより、被検面の量を求める。求めた偏心量は光学系に加え、光学系のデータとして次の面の偏心量算出処理を行う。前面から後面に1面ずつ順に処理を行っていく。その処理を図示すると図

*1, 2, 3, \dots, m ：例えば図10に示した面あるいは単レンズ、レンズ群における偏心量とする。図10

(a)は、面の偏心量の定義を示しており、基準軸上の面の中心軸の基準軸となす $x-z$ 面内の傾き ε_x 、 $y-z$ 面内の傾き ε_y で偏心量を表している。図10(b)は、レンズの偏心量の定義を示しており、レンズの中心軸と基準軸となす $x-z$ 面内の傾き ε_x 、 $y-z$ 面内の傾き ε_y と、レンズ第1面の中心の基準軸からの $x-z$ 面内のズレ量 δx 、 $y-z$ 面内のズレ量 δy とで偏心量を表している。図10(c)は、レンズ群の偏心量の定義を示しており、図10(b)と同様である。図10(d)は、図10(b)とは別のレンズの偏心量の定義を示しており、任意の点P(X, Y)を中心に回転しているとして、その中心軸の基準軸となす $x-z$ 面内の傾き ε_x 、 $y-z$ 面内の傾き ε_y で偏心量を表している。

【0027】ここで、 $a_{ij} = \partial F_i / \partial x_j$ (偏微分)、初期の評価関数値を F_{i0} 、初期の変数値を x_{j0} とすると、

$$\dots (2)$$

5のようになる。

【0033】また、オートコリメーション法とは別の方法として、評価関数として扱える像点位置、光束の重心位置、光束の広がり、光線の状態等の一つあるいは複数測定し、評価関数とする方法もある。測定時に光が通った範囲の一つ以上の被検面、単レンズ、群レンズの偏心量を同時に変数にして最適化処理を行うことにより、変数にした一つ以上の被検面、単レンズ、群レンズの偏心量を一度に算出することが可能である。

【0034】また、従来のオートコリメーション法で用いている近軸量の代わりに、ローカル近軸量を用いることもできる。図7における光源52から像面54に至る任意の基準光線を設定し、基準光線の近傍を伝播する微小光束の広がりを全系にわたって計算することにより、偏心量を考慮した非対称光学系での基準光線近傍におけるローカル近軸量を得られる。ローカル近軸量として得られる情報には、結像位置、結像方位、焦線方位、倍率、焦点距離、瞳位置、主点位置、節点位置、非点収差、像面歪曲、照度等があり(特開平11-287947号)、式(1)の β の代わりにローカル近軸量の倍率を採用することにより、被検光学系の偏心量の精度を向上することができる。

【0035】また、上記リアルレイトレースを行う光学系の実際の面の曲率半径 r 、面間隔 d 、屈折率 n 等は製造誤差等により意図した光学系とは異なるものになっていることもある。リアルレイトレースを行う光学系のデータを、図2の光学素子測定機9等で測定された面の曲率半径 r 、面間隔 d 、屈折率 n 等のデータと置換、又は、図2の光学素子測定機9等で測定された曲率半径 r 、面間隔 d 、屈折率 n 等の製造誤差データ、又は、曲率半径 r 、面間隔 d 、屈折率 n 等の公差量等のデータ

を、光学系の面の曲率半径 r 、面間隔 d 、屈折率 n 等に加える。これを光学系のデータとして扱い、リアルレイトレースを行うことで、実際により近い追跡結果が算出され、求められる偏心量の精度を向上することができる。

【0036】また、オートコリメーション法では、被測定面の球心位置に収束するように光束を入射させる。これを実現するためには、被測定面に応じて測定機光学系内部を動かして測定を行う必要がある場合もある。上記リアルレイトレースを行う光学系に、被測定面に応じた測定機光学系内部の変動量を測定して加える。これを光学系データとして扱い、リアルレイトレースを行うことにより、実際により近い追跡結果が算出され、求められる偏心量の精度を向上することができる。

【0037】また、リアルレイトレースを用いて上記偏心測定、評価、解析を行う光学系には、カメラ、内視鏡、顕微鏡等のズームレンズ等がある。

【0038】次に、リアルレイトレースを用いて光学系あるいは光学素子の偏心測定、評価、解析を行う実施例を図11と図13に示す。

【0039】図11は、特開平7-120218号及び特開平9-222380号に示されている斜入射法を用いた非球面偏心測定機にリアルレイトレースを応用し、精度を向上させた例を示す図である。図11(a)は、非球面120の光軸付近に光束を入射させた状態、図11(b)は、非球面120の周辺部に光束を斜めに入射させた状態を示している。何れの場合も、非球面120の表面で反射した光束は、ミラー111、投影レンズ103、ビームスプリッタ115、顕微鏡対物レンズ105、三角プリズム134、ズームレンズ106と進み、CCDカメラ107に輝点となって結像する。非球面120を回転させると、CCDカメラ107上の反射してきた光束の輝点は曲線を描き、CCDカメラ107上で回るが、この輝点の軌跡を解析することで被検非球面レンズ121の非球面120の偏心 δr と傾き εr をその方位角 $\varepsilon \theta$ 、 $\delta \theta$ と共に求めることができる。

【0040】ところが、上述の2件の特許では、軌跡を解析するのに近軸計算及びローカル曲率に基づく近軸計算を用いていたため、必ずしも精度が良いとは言えなかった。

【0041】そこで、本発明では、偏心測定機141の光学系の全ての面の光学設計データ、つまり、各面の
 r : 曲率半径 (非球面の場合は面の方程式)
 d : 次の面までの距離
 n : 媒質の屈折率

を計算機150に入力しておき、被検非球面の εr 、 δr 並びに $\varepsilon \theta$ 、 $\delta \theta$ の方位角 $\varepsilon \theta$ 、 $\delta \theta$ を変数としてCCDカメラ107で観測した被検非球面レンズ121を回転させたときの軌跡にリアルレイトレースした輝点の軌跡が一致するような εr 、 δr 、 $\varepsilon \theta$ 、 $\delta \theta$ の最適値

を求める。

【0042】このようにすれば、近軸光線での解析よりも精度良く εr 、 δr 、 $\varepsilon \theta$ 、 $\delta \theta$ を求めることができる。

【0043】なお、図中の符号149はCCDカメラ107の出力を処理する信号処理回路であり、符号151はTVモニターである。

【0044】 $\varepsilon x = \varepsilon r \cdot \cos \varepsilon \theta$

$\varepsilon y = \varepsilon r \cdot \sin \varepsilon \theta$

10 $\delta x = \delta r \cdot \cos \delta \theta$

$\delta y = \delta r \cdot \sin \delta \theta$

であるから、 εr 、 δr 、 $\varepsilon \theta$ 、 $\delta \theta$ の代わりに偏心量の成分 εx 、 εy 、 δx 、 δy を求めてもよい。

【0045】図12に、上記 εr 、 δr 、 $\varepsilon \theta$ 、 $\delta \theta$ の定義を示す。

【0046】次に、図13はリアルレイトレースを用いた心出顕微鏡160の例を示す図であり、この心出顕微鏡160は、1枚のレンズの偏心測定、レンズの1面の偏心測定、複数のレンズの接合のために、それぞれのレンズの偏心を調べつつ接合するときに用いられる。

【0047】この心出顕微鏡160において、光源161から出た光は、ターゲットのピンホール162、採光レンズ163、ビームスプリッタ (ハーフプリズム) 115を通り、非検面164に入射する。非検面164で反射した光束は、ビームスプリッタ (ハーフプリズム) 115、変倍系171を有する光学系102、ハーフミラー167、結像レンズ166と進み、CCDカメラ107に輝点となって結像する。被検レンズ165を回転させたとき、CCDカメラ107上の輝点の位置又は軌跡から非検面164の偏心を求めることができる。CCDカメラ107の代わりに、焦点板168上の輝点の位置又は軌跡から、接眼レンズ169を介して眼170で観察して非検面164の偏心を求めてもよい。

【0048】ここで、ピンホール162の採光レンズ163による像は、非検面164の球心にできるのではなく、その球心から外れた位置にできるものでもよく、図13はそのような場合を図示している。それを不等倍結像の状態という。同様にして、非検面164の下方の面172、173、174の偏心を求めることができる。

40 【0049】輝点の位置又は軌跡から被検面び偏心を求めるには、従来、近軸理論で解析していた。しかし、心出顕微鏡160の光学系の収差 (特に歪曲収差) のため、精度がやや悪かった。そこで、本発明では、心出顕微鏡160の光学系の各面の

r : 曲率半径 (非球面の場合は面の方程式)

d : 次の面までの距離

n : 媒質の屈折率

を計算機150に入力しておき、CCDカメラ107上の輝点の位置又は軌跡にリアルレイトレースした輝点の位置が略一致するような非検面164の偏心を求めるこ

とで、非検面 164 の偏心を知ることができる。

【0050】次に、複曲面を有するレンズ系に非球面で構成されたレンズ面が含まれている場合の偏心測定の実施例を示す。非球面は一義的に決まる非球面軸が存在するため、例えばレンズ面の傾き ε とズレ量 δ の偏心を表すパラメータが必要となる。偏心を表すパラメータは、光軸と直交し、かつ、それぞれが直交する 2 方向の成分 $(\varepsilon_x, \varepsilon_y)$ 、 (δ_x, δ_y) で表してもよい。また、図 12 に非球面の偏心の定義を示すように、極座標 $(\varepsilon_r, \varepsilon_\theta)$ 、 $(\delta_r, \delta_\theta)$ 等でもよい。これらの偏心を表わすパラメータを求めるには以下のようにすればよい。

【0051】一般的に、測定しようとするレンズ面が非球面であるとき、この面に傾き ε がある場合の指標の反射像の光強度分布と、この面にズレ量 δ がある場合の指標の反射像の光強度分布は異なるため、測定された指標の反射像の光強度分布を目標値として、例えば被測定面の傾き ε とズレ量 δ を変数にして、リアルレイトレース又は近軸光線追跡を行い、傾き ε とズレ量 δ を最適化することで、偏心を表すパラメータを求めることができる。

【0052】上記の光強度分布は、検出器で検出された光の強度分布の形状、及び、幾何光学的あるいは波動光学的に計算された光の強度分布を意味する。

【0053】また、被検光学系の評価を行うためには、偏心を表すパラメータの中、必要とされる少なくとも一つのパラメータを求めればよい。

【0054】また、図 7 において、光源 52 から射出する光束の中一部の光線だけを被検光学系に入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面から反射する光線の位置を検出し、それぞれの状態に対してリアルレイトレース又は近軸光線追跡を行い、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるよう、傾き ε とズレ量 δ を最適化することでも、偏心*

$$\varepsilon_1' = \varepsilon_1 + \delta_1 / R_1 \quad \dots (3)$$

$$\varepsilon_2' = \varepsilon_2 + \delta_2 / R_2 \quad \dots (4)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_L \quad \dots (5)$$

$$\delta_2 = \delta_1 + T \varepsilon_1 \quad \dots (6)$$

式 (3) ~ (6) から、

$$\delta_1 = (R_1 R_2 + R_1 T) \varepsilon_1' / (R_2 - R_1 + T) - R_1 R_2 (\varepsilon_2' - \varepsilon_L) / (R_2 - R_1 + T) \quad \dots (7)$$

$$\delta_2 = R_1 R_2 \varepsilon_1' / (R_2 - R_1 + T) - (R_1 R_2 - R_2 T) (\varepsilon_2' - \varepsilon_L) / (R_2 - R_1 + T) \quad \dots (8)$$

$$\varepsilon_1 = -R_1 \varepsilon_1' / (R_2 - R_1 + T) + R_2 (\varepsilon_2' - \varepsilon_L) / (R_2 - R_1 + T) \quad \dots (9)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1' + \varepsilon_L \quad \dots (10)$$

以上の計算は、光学系の近軸的な性質を基にした計算であり、式 (7) ~ (10) の方程式で偏心量を求めるこ

*を表すパラメータを求めることができる。

【0055】また、図 14 に示すように、マイクロレンズアレイ 62 で点光源像群を作り、それを投影レンズ 63 で被検面 61 に投影し、被検面 61 で反射若しくは屈折した光をハーフミラー 64 を介して（被検面 61 で反射させる場合）撮像素子 65 で検出し、図 15 に例示するような各点光源の像を得て、各点光源像の位置を目標としてリアルレイトレース又は近軸光線追跡を行い、全ての状態において測定された点光源像の位置と光線追跡で求めた点光源像の位置との差が小さくなるよう、傾き ε とズレ量 δ を最適化することでも、偏心を表すパラメータを求めることができる。

【0056】また、図 16 に示すように、シャックハルトマン法の応用例として、被検光学素子又は光学系 71 を透過した光をコリメートレンズ 72 を介してマイクロレンズアレイ 73 に導いて点像群を作り、リレーレンズ 74 を経てその点像群を撮像素子 75 で検出し、各点像の位置を目標としてリアルレイトレース又は近軸光線追跡を行い、全ての状態において測定された点光源像の位置と光線追跡で求めた点光源像の位置との差が小さくなるよう、各面の傾き ε とズレ量 δ を最適化することでも、偏心を表すパラメータを求めることができる。

【0057】また、測定しようとする非球面を含むレンズ単体において、レンズの前面と後面との間の面間偏心 ε_L が、面間偏心測定機等で得られている場合には、前面及び後面単体での軸の光軸に対する傾き ε （それぞれ ε_1 、 ε_2 ）とズレ量 δ （それぞれ δ_1 、 δ_2 ）と、指標の反射像の測定から得られた前面の傾き量 ε_1' 、後面の傾き量 ε_2' 、及び、 ε_L 、及び、前面の近軸曲率半径 R_1 、後面の近軸曲率半径 R_2 、レンズ厚 T から、前面と後面の傾き ε とズレ量 δ を、以下のように計算することができる。なお、偏心を表すパラメータ ε_1 、 ε_2 、 ε_1' 、 ε_2' 、 ε_L 、 δ_1 、 δ_2 は、 x 、 y それぞれの成分を表している。

【0058】

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

$$\dots (5)$$

$$\dots (6)$$

とができるし、リアルレイトレースで被検光学系の各面の偏心を計算する場合に、非球面を含むレンズの両面の

面間偏心を束縛条件として計算することもできる。

【0059】なお、言うまでもなく、式(7)～(10)と数学的に同値な方程式(例えば、極座標に変換したもの)を用いてももちろんよい。

【0060】ところで、複数面を有するレンズ系の各面の測定をオートコリメーション法(図7)を用いて行う場合、測定しようとする面51の見かけ上の曲率中心、すなわち、被測定面51と観察系との間に存在する別の面によって結像される被測定面51の曲率中心の像の位置に、指標若しくは光源像を投影し、被検面51による等倍の反射像を、その指標若しくは光源像の投影位置と同じ位置に生じさせたときに、測定しようとするレンズ面以外から反射された指標像若しくは光源像が、測定しようとするレンズ面51による指標若しくは光源像の近傍に生じることが有り得る。この場合には、どちらが測定しようとするレンズ面による指標像若しくは光源像かの区別が困難である。

【0061】そこで、このような場合には、測定しようとする面の見かけ上の曲率中心、すなわち、被測定面51と観察系との間に存在する別の面によって結像される被測定面51の曲率中心の像の位置から光軸に沿った方向にずらした位置に指標若しくは光源像を投影する。その様子を図17に示す。図7の光源52若しくはコリメータレンズ53の位置を光軸に沿ってずらした場合に相当する。このとき、指標若しくは光源像を投影した位置とその反射像の位置は異なり、倍率も等倍ではなくなる。

【0062】また、上記した測定しようとするレンズ面51以外から反射される指標の像若しくは光源像の位置*

$$n(r) = n_0 + n_2 r^2 + n_4 r^4 + n_6 r^6 + \dots \quad (11)$$

の形で表せられる。

【0067】被検光学素子83の光軸方向の厚さが十分に小さくなく、被検光学素子83内での光線の屈曲が無視できない場合には、リアルレイトレースによって計算した波面収差が、測定した波面収差に等しくなるように、式(11)の係数 n_2 、 n_4 、 n_6 を変数として屈折率分布の最適化を行う。

【0068】この場合、被検光学素子83に平行光を入射させた場合の射出波面の、基準光学系84に平行光を入射させた場合の射出波面からのズレを測定していると考えられ、基準光学系84の収差が無視できる程小さければ、射出波面は球面となるため、被検光学素子83に平行光を入射させた場合の射出波面の、基準光学系84に平行光を入射させた場合の射出波面からのズレは、被検光学素子83に平行光を入射させた場合の波面収差と一致する。

【0069】そのため、屈折率分布形状を式(11)で定義した媒質の各屈折率分布係数を、初期状態を設計値とする変数として、リアルレイトレースを行い、その射出波面、すなわち波面収差を、測定値にフィッティング

*もずれ、一般に測定しようとするレンズ面51による反射像の位置のずれ量と測定しようとするレンズ面以外からの反射像の位置ずれ量は異なるため、測定しようとするレンズ面51から反射される指標の像若しくは光源像のずれ量を計算で求めておき、この位置に結像される指標の像若しくは光源像の反射像を検出するようにすることで、測定しようとするレンズ面51による指標像若しくは光源像を区別することができる。また、投影する指標若しくは光源像に対する指標若しくは光源像の反射像の倍率の絶対値を1より大きくすることにより、等倍で結像する場合よりも偏心測定精度を向上させることができる。また、被検面で反射した光線の代わりに被検面で屈折した光線を検出する方法でもよい。

【0063】次に、リアルレイトレースを用いて光学素子の屈折率分布測定・評価・解析を行う実施例を、図18を用いて説明する。

【0064】He-Neレーザー81からのレーザー光をビームスプリッタ82で2つの光路に分割し、一方を被検光学素子83に入射させ、残る一方をその被検光学素子83の設計値通りの光学性能を持つ基準光学系84に入射させ、双方の光学系を透過した光束をビームスプリッタ85で合成し、スクリーン86上に干渉縞が発生するように投影する。干渉縞の像はテレビカメラで取り込み、計算機に入力して縞の解析を行い、スクリーン86上の光束内における位相差分布を求める。

【0065】このような装置により測定される位相差分布は、被検光学素子83に平行光束を入射させた場合の、射出瞳面における波面収差に該当する。

【0066】一般に、屈折率分布は、

させるように最適化を行えば、各係数が得られる。

【0070】以上の本発明の光学素子又は光学系の偏心測定方法等は、次のように構成することができる。

【0071】〔1〕被測定光学素子又は光学系に光を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光の状態を測定し、その測定値よりリアルレイトレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の偏心量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0072】〔2〕被測定光学素子又は光学系に光線を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光線の状態を測定し、その測定値よりリアルレイトレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の偏心量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0073】〔3〕被測定光学素子又は光学系に光束を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光束の状態を測定し、その測定値よりリアルレイトレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の偏心量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方

法又は測定機又は測定されたもの。

【0074】〔4〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光を入射させる手段と、その光が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光を検出する光検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光を前記光検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の偏心を測定する偏心測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光検出手段における光の状態が、測定された光の状態と等しくなるような被検面の偏心量を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0075】〔5〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光線を入射させる手段と、その光線が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光線を検出する光線検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光線を前記光線検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の偏心を測定する偏心測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光線検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光線検出手段における光線の状態が、測定された光線の状態と等しくなるような被検面の偏心量を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0076】〔6〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光束を入射させる手段と、その光束が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光束を検出する光束検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光束を前記光束検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の偏心を測定する偏心測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光束検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光束検出手段における光束の状態が、測定された光束の状態と等しくなるような被検面の偏心量を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0077】〔7〕 被測定光学素子又は光学系あるいは測定機の光学素子又は光学系の製造誤差を含んだ光学素子又は光学系でリアルレイトレースを行うことを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0078】〔8〕 測定機の光学素子又は光学系内部の変動量を測定し、変動量を考慮した光学素子又は光学系でリアルレイトレースを行うことを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0079】〔9〕 光学素子又は光学系の前面から1面ずつ測定して偏心量を求め、次の面では前に求めた偏心量を含んだ光学素子又は光学系でリアルレイトレースを行い、その面の偏心量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0080】〔10〕 前記測定値を目標値、求める面の偏心量を未知数とした方程式の解法処理をリアルレイトレースを用いて行うことを特徴とする上記1から3の何れか1項記載の光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0081】〔11〕 前記測定値を目標値、任意の位置又は任意の軸を基準とした複数の面あるいはレンズ群の偏心量を未知数とした方程式の解法処理をリアルレイトレースを用いて行うことを特徴とする上記1から3の何れか1項記載の光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0082】〔12〕 前記未知数の算出に、最適化処理を用いることを特徴とする上記10又は11記載の光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0083】〔13〕 波動光学的点像強度分布を評価関数とすることを特徴とする上記12記載の光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0084】〔14〕 光束の像を測定する場合の結像関係が等倍結像あるいは不等倍結像の何れかを用いることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0085】〔15〕 ローカル近軸量を用いたオートコリメーション法又は不等倍像法により偏心量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0086】〔16〕 測定された指標の反射像の光強度分布又は位置を目標値として、非球面である被測定面の偏心量を変数にして光線追跡を行い、偏心量を最適化することで少なくとも一つの偏心量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0087】〔17〕 測定された指標の反対像の光強度分布又は位置を目標値として、非球面である被測定面の傾きと偏り量を変数にして光線追跡を行い、傾きと偏り量を最適化することで、傾きと偏り量のそれぞれの要素の中少なくとも一つの偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0088】〔18〕 測定された指標の反射像の光強度分布又は位置を目標値として、非球面である被測定面の光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量を変数にして光線追跡を行い、光軸と直交しかつ

それぞれが直交する2方向の傾きと偏り量を最適化することで、光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量の少なくとも一つの偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0089】〔19〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように偏心量を最適化することで、少なくとも一つの偏心量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0090】〔20〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように傾きと偏り量を最適化すること
20 で、傾きと偏り量の少なくとも一つの偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏 *

$$\delta_1 = (R_1 R_2 + R_1 T) \varepsilon_1' / (R_2 - R_1 + T) - R_1 R_2 (\varepsilon_2' - \varepsilon_L) / (R_2 - R_1 + T) \quad \dots (7)$$

$$\delta_2 = R_1 R_2 \varepsilon_1' / (R_2 - R_1 + T) - (R_1 R_2 - R_2 T) (\varepsilon_2' - \varepsilon_L) / (R_2 - R_1 + T) \quad \dots (8)$$

$$\varepsilon_1 = -R_1 \varepsilon_1' / (R_2 - R_1 + T) + R_2 (\varepsilon_2' - \varepsilon_L) / (R_2 - R_1 + T) \quad \dots (9)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1' + \varepsilon_L \quad \dots (10)$$

〔23〕 光学系中若しくは単体の球面若しくは非球面レンズにおいて、レンズの前面と後面との間の既知の面間偏心を用いてその面間偏心を束縛条件とし、リアルレイトレースを用いて偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0094】〔24〕 測定しようとする面のみかけ上の曲率中心、すなわち、被測定面と偏心測定機の観察系との間に存在する別の面によって結像される被測定面の曲率中心の像の位置から光軸に沿った方向にずらした位置に指標を投影し、測定しようとするレンズ面から反射される指標の像のずれ量を計算で求めておき、この位置に結像される指標の像の反射像を検出することを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0095】〔25〕 投影する指標に対する指標の反射像の倍率の絶対値が1より大きくすることを特徴とする上記24記載の光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0096】〔26〕 リアルレイトレースを用いるこ

*心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0091】〔21〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように、光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量を最適化することで、光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量の
10 の少なくとも一つの偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0092】〔22〕 光学系中若しくは単体の非球面レンズにおいて、レンズの前面と後面との間の既知の面間偏心 ε_L を用い、指標の反射像の測定から得られた前面の傾き量 ε_1' 、後面の傾き量 ε_2' 、及び、 ε_L 、及び、前面の近軸曲率半径 R_1 、後面の近軸曲率半径 R_2 、レンズ厚 T から、以下の式若しくは数学的に同値の式により前面と後面の傾き ε_1 と ε_2 、偏り量 δ_1 と δ_2 を計算することを特徴とする光学素子又は光学系の
20 偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0093】

とを特徴とする上記24又は25記載の光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0097】〔27〕 光源と、光源からの光を複数の点光源像群に分割する手段と、前記点光源像群を被検面近傍に投影する手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記点光源像群を検出する検出手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記点光源像群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された点光源像群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルレイトレースを行い、前記被検面の偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする
40 光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0098】〔28〕 光学素子若しくは光学系を透過した光を複数の点光源像群に分割する手段と、前記点光源像群を検出する検出手段と、前記点光源像群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された点光源像群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルレイトレースを行い、前記被検面の偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定
50 機又は測定されたもの。

【0099】〔29〕 光源と、光源からの光を複数の光束群に分割する手段と、前記光束群を被検面近傍に投影する手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記光束群を検出する検出手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記光束群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された光束群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルタイムレーシングを行い、前記被検面の偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0100】〔30〕 光学素子若しくは光学系を透過した光を複数の光束群に分割する手段と、前記光束群を検出する検出手段と、前記光束群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された光束群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルタイムレーシングを行い、前記被検面の偏心を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0101】〔31〕 カメラ、内視鏡、顕微鏡等のズームレンズの光学系を対象にしていることを特徴とする上記1から30の何れか1項記載の光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0102】〔32〕 上記1から30の何れか1項記載の処理方法を機械可読な形で記録したことを特徴とする記憶媒体。

【0103】〔33〕 上記1から30の何れか1項記載の処理方法を用いていることを特徴とする偏心測定処理装置。

【0104】〔34〕 測定機を制御するコンピュータとリアルタイムレーシングを行うコンピュータとが同一であることを特徴とする光学素子又は光学系の偏心測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0105】〔35〕 被測定光学素子又は光学系に光を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光の状態を測定し、その測定値よりリアルタイムレーシングを用いることにより前記光学素子又は光学系の物理量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0106】〔36〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光線の状態を測定し、その測定値よりリアルタイムレーシングを用いることにより前記光学素子又は光学系の物理量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0107】〔37〕 被測定光学素子又は光学系に光束を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光束の状態を測定し、その測定値よりリアルタイムレーシングを用いることにより前記光学素子又は光学系の物理量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0108】〔38〕 被検光学素子又は光学系中の被

検面に光を入射させる手段と、その光が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光を検出する光検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光を前記光検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の物理量を測定する物理量測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光検出手段における光の状態が、測定された光の状態と等しくなるような被検面の物理量を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0109】〔39〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光線を入射させる手段と、その光線が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光線を検出する光線検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光線を前記光線検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の物理量を測定する物理量測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光線検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光線検出手段における光線の状態が、測定された光線の状態と等しくなるような被検面の物理量を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0110】〔40〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光束を入射させる手段と、その光束が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光束を検出する光束検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光束を前記光束検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の物理量を測定する物理量測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光束検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光束検出手段における光束の状態が、測定された光束の状態と等しくなるような被検面の物理量を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0111】〔41〕 被測定光学素子又は光学系あるいは測定機の光学素子又は光学系の製造誤差を含んだ光学素子又は光学系でリアルタイムレーシングを行うことを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0112】〔42〕 測定機の光学素子又は光学系内部の変動量を測定し、変動量を考慮した光学素子又は光学系でリアルタイムレーシングを行うことを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0113】〔43〕 光学素子又は光学系の前面から1面ずつ測定して物理量を求め、次の面では前に求めた

物理量を含んだ光学素子又は光学系でリアルレイトレースを行い、その面の物理量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0114】〔44〕 前記測定値を目標値、求める面の物理量を未知数とした方程式の解法処理をリアルレイトレースを用いて行うことを特徴とする上記35から37の何れか1項記載の光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0115】〔45〕 前記測定値を目標値、任意の位置又は任意の軸を基準とした複数の面あるいはレンズ群の物理量を未知数とした方程式の解法処理をリアルレイトレースを用いて行うことを特徴とする上記35から37の何れか1項記載の光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0116】〔46〕 前記未知数の算出に、最適化処理を用いることを特徴とする上記44又は45記載の光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0117】〔47〕 波動光学的点像強度分布を評価関数とすることを特徴とする上記46記載の光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0118】〔48〕 光束の像を測定する場合の結像関係が等倍結像あるいは不等倍結像の何れかを用いることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0119】〔49〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように物理量を最適化することで、少なくとも一つの物理量を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0120】〔50〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように傾きと偏り量を最適化することで、傾きと偏り量の少なくとも一つの物理量を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0121】〔51〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との

差が小さくなるように、光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量を最適化することで、光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量の少なくとも一つの物理量を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0122】〔52〕 測定しようとする面のみかけ上の曲率中心、すなわち、被測定面と物理量測定機の観察系との間に存在する別の面によって結像される被測定面の曲率中心の像の位置から光軸に沿った方向にずらした位置に指標を投影し、測定しようとするレンズ面から反射される指標の像のずれ量を計算で求めておき、この位置に結像される指標の像の反射像を検出することを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0123】〔53〕 投影する指標に対する指標の反射像の倍率の絶対値が1より大きくすることを特徴とする上記52記載の光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0124】〔54〕 リアルレイトレースを用いることを特徴とする上記52又は53記載の光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0125】〔55〕 光源と、光源からの光を複数の点光源群像に分割する手段と、前記点光源群像を被検面近傍に投影する手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記点光源群像を検出する検出手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記点光源群像を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された点光源群像の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルレイトレースを行い、前記被検面の物理量を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0126】〔56〕 光学素子若しくは光学系を透過した光を複数の点光源群像に分割する手段と、前記点光源群像を検出する検出手段と、前記点光源群像を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された点光源群像の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルレイトレースを行い、前記被検面の物理量を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0127】〔57〕 光源と、光源からの光を複数の光束群に分割する手段と、前記光束群を被検面近傍に投影する手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記光束群を検出する検出手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記光束群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された光束群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルレイトレースを行い、前記被検面の物理量を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0128】〔58〕 光学素子若しくは光学系を透過

21

した光を複数の光束群に分割する手段と、前記光束群を検出する検出手段と、前記光束群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された光束群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルタイムレースをを行い、前記被検面の物理量を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0129】〔59〕 カメラ、内視鏡、顕微鏡等のズームレンズの光学系を対象にしていることを特徴とする上記35から58の何れか1項記載の光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0130】〔60〕 上記35から58の何れか1項記載の処理方法を用いていることを特徴とする物理量測定処理装置。

【0131】〔61〕 測定機を制御するコンピュータとリアルタイムレースを行うコンピュータとが同一であることを特徴とする光学素子又は光学系の物理量測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0132】〔62〕 被測定光学素子又は光学系に光を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光の状態を測定し、その測定値よりリアルタイムレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の屈折率分布型を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0133】〔63〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光線の状態を測定し、その測定値よりリアルタイムレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の屈折率分布型を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0134】〔64〕 被測定光学素子又は光学系に光束を入射し、その光学素子又は光学系から射出される光束の状態を測定し、その測定値よりリアルタイムレースを用いることにより前記光学素子又は光学系の屈折率分布型を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0135】〔65〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光を入射させる手段と、その光が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光を検出する光検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光を前記光検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の屈折率分布型を測定する屈折率分布型測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光検出手段における光の状態が、測定された光の状態と等しくなるような被検面の屈折率分布型を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

22

【0136】〔66〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光線を入射させる手段と、その光線が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光線を検出する光線検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光線を前記光線検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の屈折率分布型を測定する屈折率分布型測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光線検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光線検出手段における光線の状態が、測定された光線の状態と等しくなるような被検面の屈折率分布型を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0137】〔67〕 被検光学素子又は光学系中の被検面に光束を入射させる手段と、その光束が被検光学素子又は光学系中の被検面より反射又は屈折した光束を検出する光束検出手段と、前記被検面で反射又は屈折された光束を前記光束検出手段に導く光学素子又は光学系で構成される光学素子又は光学系の各面の屈折率分布型を測定する屈折率分布型測定機において、前記光学素子又は光学系中の被測定面より前記光束検出手段までの光学素子又は光学系の全光学素子の設計値若しくは測定値を基に、光線追跡の計算を行い、前記光束検出手段における光束の状態が、測定された光束の状態と等しくなるような被検面の屈折率分布型を計算で求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0138】〔68〕 被測定光学素子又は光学系あるいは測定機の光学素子又は光学系の製造誤差を含んだ光学素子又は光学系でリアルタイムレースを行うことを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0139】〔69〕 測定機の光学素子又は光学系内部の変動量を測定し、変動量を考慮した光学素子又は光学系でリアルタイムレースを行うことを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0140】〔70〕 光学素子又は光学系の前面から1面ずつ測定して屈折率分布型を求め、次の面では前に求めた屈折率分布型を含んだ光学素子又は光学系でリアルタイムレースを行い、その面の屈折率分布型を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0141】〔71〕 前記測定値を目標値、求める面の屈折率分布型を未知数とした方程式の解法処理をリアルタイムレースを用いて行うことを特徴とする上記62から64の何れか1項記載の光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0142】〔72〕 前記測定値を目標値、任意の位

置又は任意の軸を基準とした複数の面あるいはレンズ群の屈折率分布型を未知数とした方程式の解法処理をリアルタイムを用いて行うことを特徴とする上記62から64の何れか1項記載の光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0143】〔73〕 前記未知数の算出に、最適化処理を用いることを特徴とする上記71又は72記載の光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0144】〔74〕 波動光学的点像強度分布を評価関数とすることを特徴とする上記73記載の光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0145】〔75〕 光束の像を測定する場合の結像関係が等倍結像あるいは不等倍結像の何れかを用いることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0146】〔76〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように屈折率分布型を最適化することで、少なくとも一つの屈折率分布型を求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0147】〔77〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように傾きと偏り量を最適化することで、傾きと偏り量の少なくとも一つの屈折率分布型を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0148】〔78〕 被測定光学素子又は光学系に光線を入射させ、この光線と光軸とのなす角度をさまざまに変化させ、それぞれの角度に対して被検面からの反射又は屈折する光線の位置を検出し、全ての状態において測定された光線の位置と光線追跡で求めた光線位置との差が小さくなるように、光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量を最適化することで、光軸と直交しかつそれぞれが直交する2方向の傾きと偏り量の少なくとも一つの屈折率分布型を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0149】〔79〕 測定しようとする面のみかけ上の曲率中心、すなわち、被測定面と屈折率分布型測定機の観察系との間に存在する別の面によって結像される被

測定面の曲率中心の像の位置から光軸に沿った方向にずらした位置に指標を投影し、測定しようとするレンズ面から反射される指標の像のずれ量を計算で求めておき、この位置に結像される指標の像の反射像を検出することを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0150】〔80〕 投影する指標に対する指標の反射像の倍率の絶対値が1より大きくすることを特徴とする上記79記載の光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0151】〔81〕 リアルタイムを用いることを特徴とする上記79又は80記載の光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0152】〔82〕 光源と、光源からの光を複数の点光源群像に分割する手段と、前記点光源群像を被検面近傍に投影する手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記点光源群像を検出する検出手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記点光源群像を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された点光源群像の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルタイムを行い、前記被検面の屈折率分布型を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0153】〔83〕 光学素子若しくは光学系を透過した光を複数の点光源群像に分割する手段と、前記点光源群像を検出する検出手段と、前記点光源群像を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された点光源群像の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルタイムを行い、前記被検面の屈折率分布型を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0154】〔84〕 光源と、光源からの光を複数の光束群に分割する手段と、前記光束群を被検面近傍に投影する手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記光束群を検出する検出手段と、前記被検面で反射ないし屈折した前記光束群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された光束群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルタイムを行い、前記被検面の屈折率分布型を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0155】〔85〕 光学素子若しくは光学系を透過した光を複数の光束群に分割する手段と、前記光束群を検出する検出手段と、前記光束群を前記検出手段に導く手段とを備え、検出された光束群の位置を基に近軸光線追跡若しくはリアルタイムを行い、前記被検面の屈折率分布型を表すパラメータを求めることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0156】〔86〕 カメラ、内視鏡、顕微鏡等のズームレンズの光学系を対象にしていることを特徴とする上記62から85の何れか1項記載の光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0157】〔87〕 上記62から85の何れか1項記載の処理方法を用いていることを特徴とする屈折率分布型測定処理装置。

【0158】〔88〕 測定機を制御するコンピュータとリアルレイトレースを行うコンピュータとが同一であることを特徴とする光学素子又は光学系の屈折率分布型測定方法又は測定機又は測定されたもの。

【0159】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の光学素子又は光学系の物理量測定方法においては、被測定光学素子又は光学系から射出される光の状態を測定し、その測定値よりリアルレイトレースを用いることにより物理量を求めるので、高い精度で光学素子の単体又は組み合わせからなる光学系の物理量を表すパラメータを求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の偏心測定方法で用いるリアルレイトレースを説明するための図である。

【図2】本発明の1実施例の光学素子又は光学系の偏心測定方法を実施する処理装置のブロック図である。

【図3】図2の装置で行う処理のフローチャートである。

【図4】図3の偏心量算出処理の詳細を示すフローチャートである。

【図5】図4の偏心量算出処理を前面から後面に1面ずつ順に行う処理のフローチャートである。

【図6】反射像の基準軸からの振れ量を測定するための測定機の一例を示す図である。

【図7】オートコリメータで反射像の基準軸からの振れ量を測定する様子を説明するための図である。

【図8】像点位置算出のためのリアルレイトレースの一例を説明するための図である。

【図9】光束の重心位置、光束の広がり算出のためのリアルレイトレースの一例を説明するための図である。

【図10】レンズ面、単レンズ、レンズ群の偏心量の定義の例を示す図である。

【図11】斜入射法を用いた非球面偏心測定機に本発明のリアルレイトレース法を適用した実施例を示す図である。

【図12】偏心量 ε_r 、 δ_r 、 ε_θ 、 δ_θ の定義を示す図である。

【図13】本発明のリアルレイトレース法を用いた心出顕微鏡の例を示す図である。

【図14】本発明によりマイクロレンズアレイで点光源像群を作って偏心量を求める配置を示す図である。

【図15】図14における各点光源の像の例を示す図である。

【図16】本発明によるシャックハルトマン法の応用例を示す図である。

【図17】本発明によりオートコリメータで不等倍像を作って振れ量を測定する様子を説明するための図である。

【図18】本発明によりリアルレイトレースを用いて光学素子の屈折率分布測定・評価・解析を行う実施例を説明するための図である。

【符号の説明】

1…演算処理装置

2…表示装置

3…入力装置

4…記憶装置

5…外部媒体

6…プリンター

7…LAN

8…測定機

9…光学素子測定機

10…光学系設計装置

51…被測定面

52…光源（指標）

53…コリメータレンズ

54…像面

61…被検面

62…マイクロレンズアレイ

63…投影レンズ

64…ハーフミラー

65…撮像素子

71…被検光学素子又は光学系

72…コリメートレンズ

73…マイクロレンズアレイ

74…リレーレンズ

75…撮像素子

81…He-Neレーザー

82…ビームスプリッタ

83…被検光学素子

84…基準光学系

85…ビームスプリッタ

86…スクリーン

102…光学系

103…投影レンズ

105…顕微鏡対物レンズ

106…ズームレンズ

107…CCDカメラ

111…ミラー

115…ビームスプリッタ

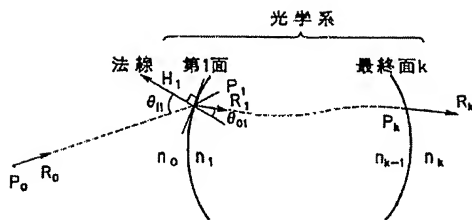
120…非球面

50 121…被検非球面レンズ

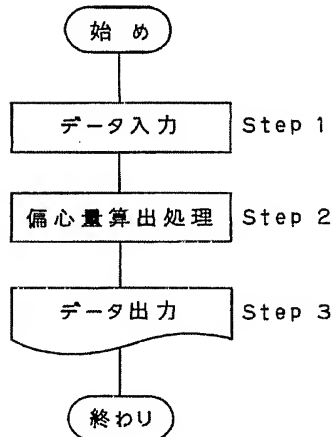
27

- 134…三角プリズム
- 141…偏心測定機
- 149…信号処理回路
- 150…計算機
- 151…TVモニター
- 160…心出顕微鏡
- 161…光源
- 162…ピンホール
- 163…採光レンズ
- 164…非検面
- 165…被検レンズ
- 166…結像レンズ
- 167…ハーフミラー
- 168…焦点板

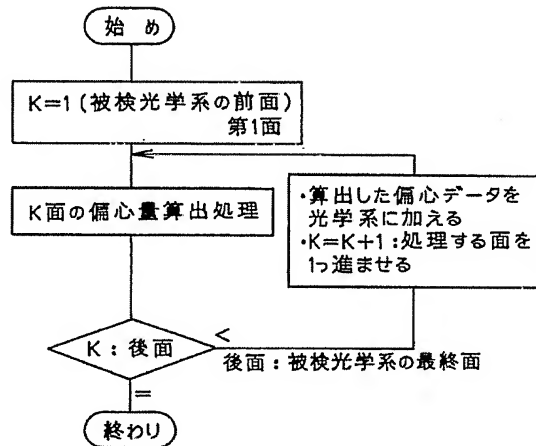
【図1】



【図3】



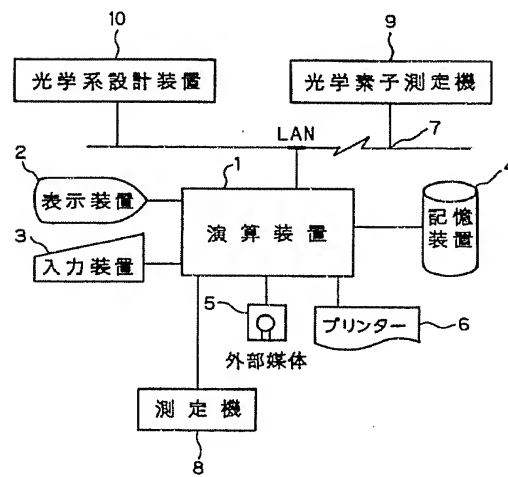
【図5】



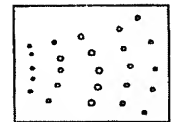
28

- 169…接眼レンズ
- 170…眼
- 171…変倍系
- 172、173、174…光学面
- 201…半導体レーザー
- 202…測定用光学系
- 203…被測定レンズ
- 204…ビームスプリッター
- 205…イメージローテータ
- 10 206…基準軸設定用光学系
- 207…CCDカメラ
- 208…モニタテレビ
- 209…CRT
- 210…演算処理部

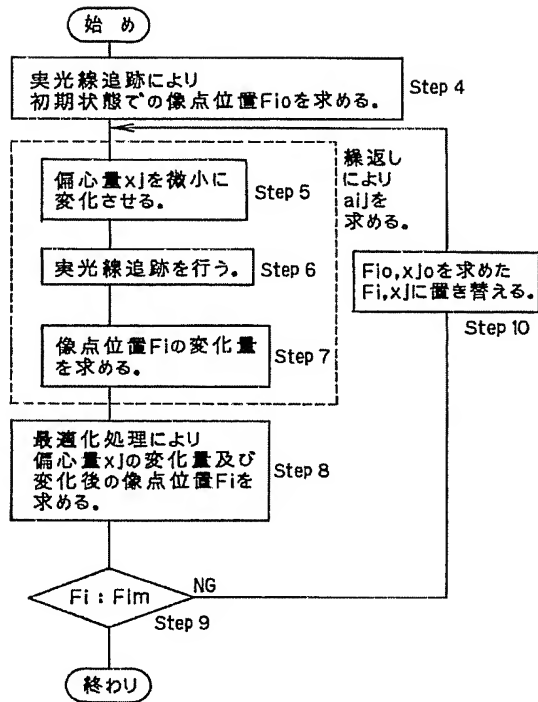
【図2】



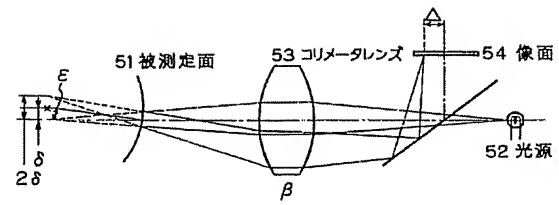
【図15】



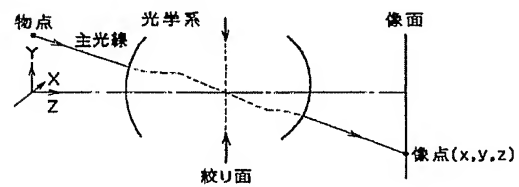
【図4】



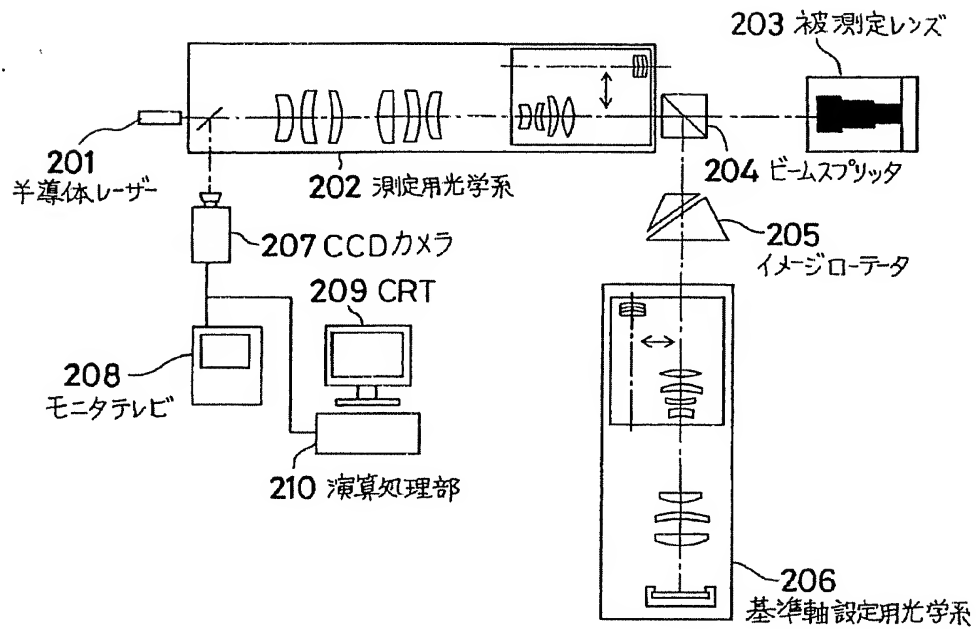
【図7】



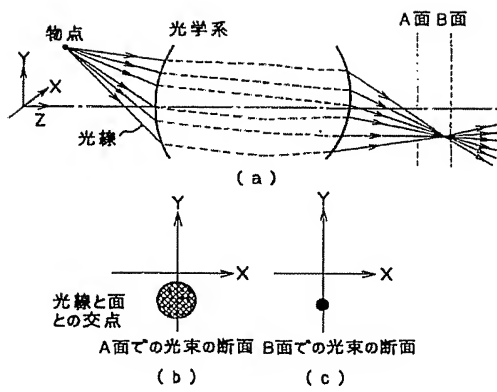
【図8】



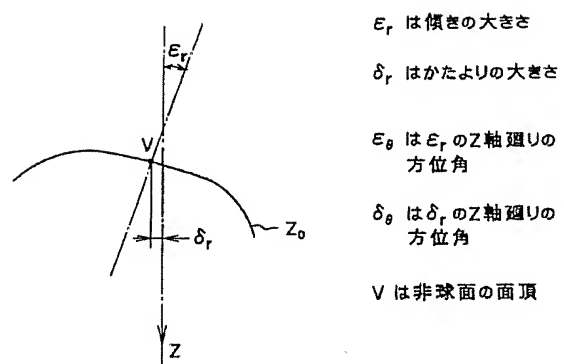
【図6】



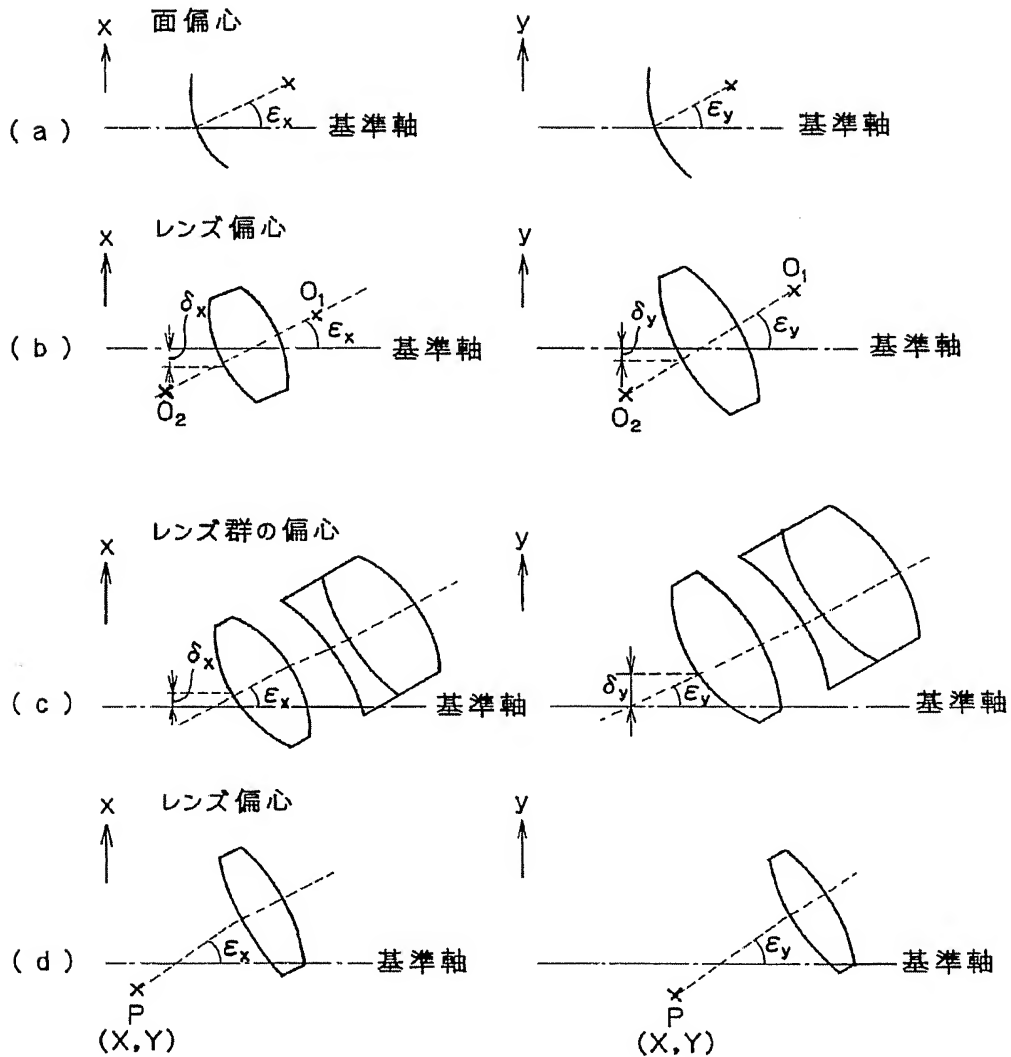
【図9】



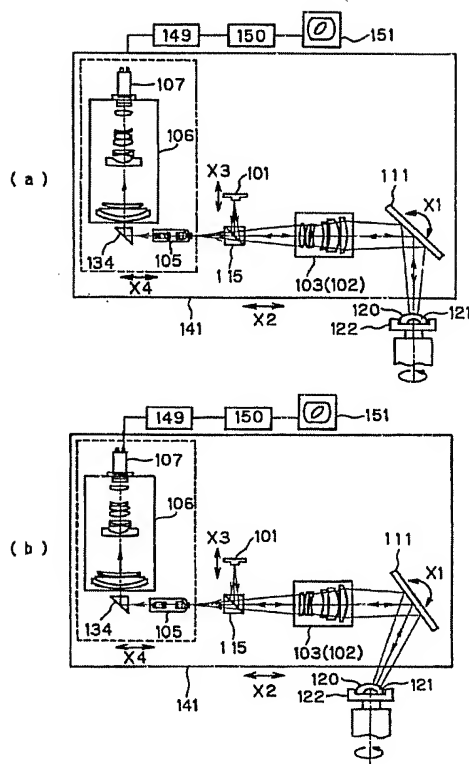
【図12】



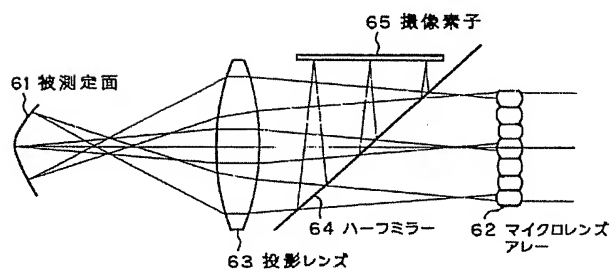
【図10】



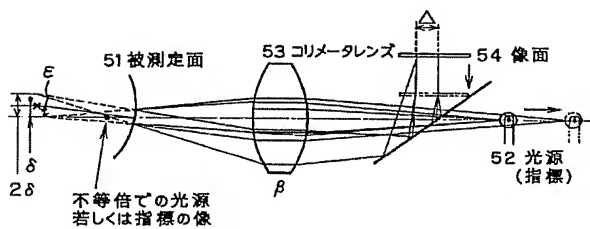
【図11】



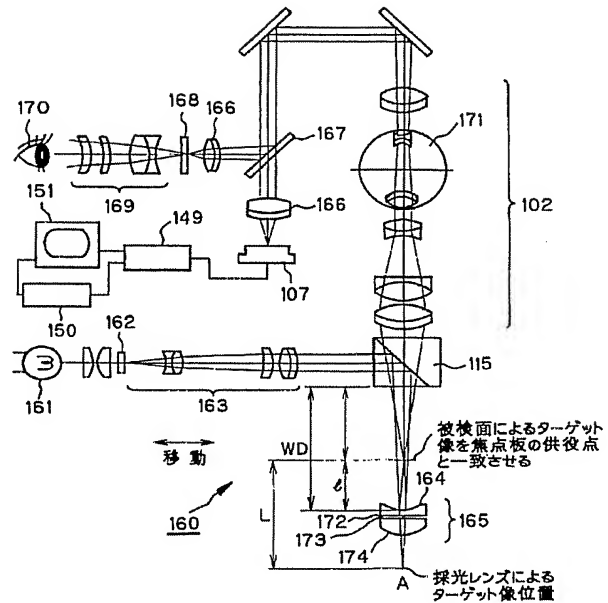
【図14】



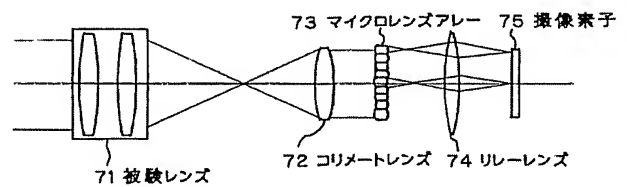
【図17】



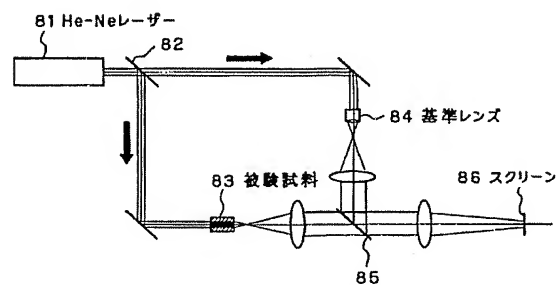
【図13】



【図16】



【図18】



フロントページの続き

(72) 発明者 安垣 誠人

F ターム(参考) 2G086 FF01 FF04 FF06

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 43 番 2 号 オリ
ンパス光学工業株式会社内